

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改 25
提出年月日	平成 30 年 6 月 26 日

V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

- V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-4 排気筒の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
- V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書
- V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	3
2.4 適用規格.....	4
3. 強度評価方法.....	5
3.1 記号の定義.....	5
3.2 評価対象部位.....	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	8
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	14
5. 強度評価結果.....	17

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「ディーゼル発電機排気消音器」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、消音器の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機排気消音器の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機排気消音器は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図2-1に示す位置に設置する。

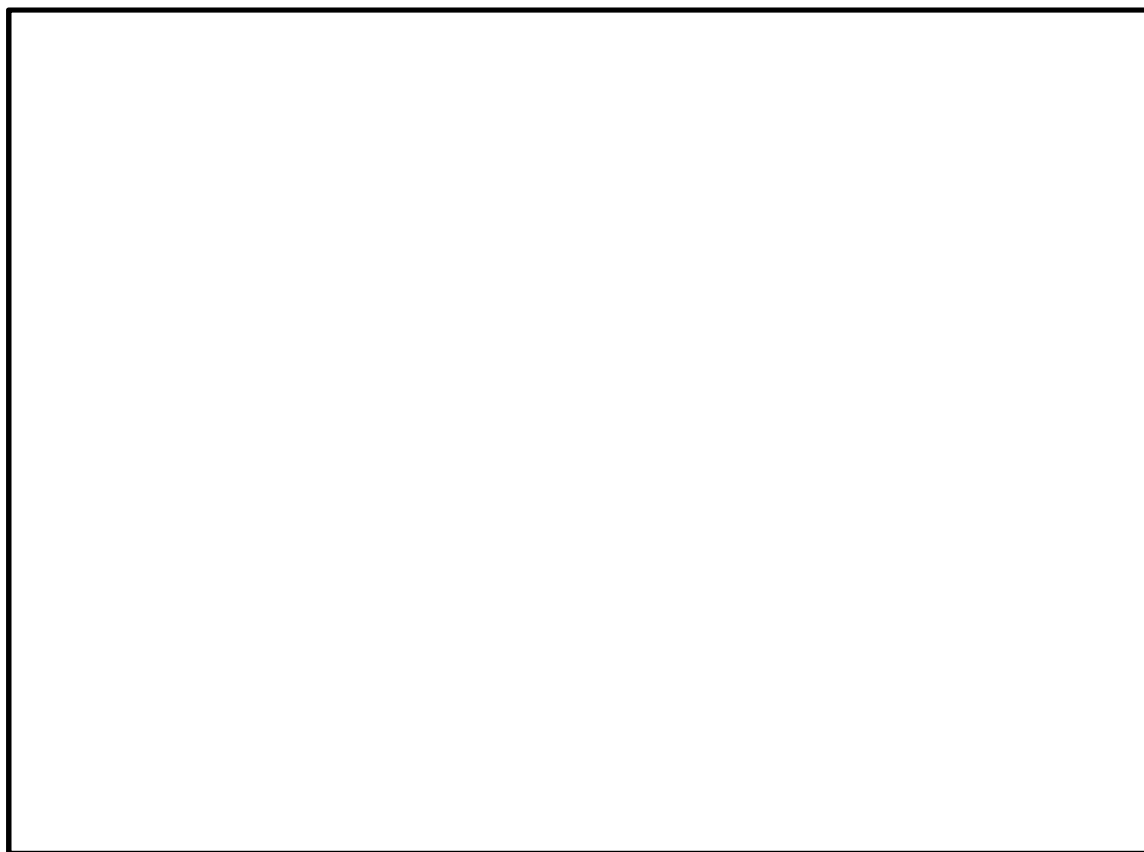


図 2-1 ディーゼル発電機排気消音器の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機排気消音器について、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機排気消音器の構造を示す。

ディーゼル発電機排気消音器は屋外に設置しており、取付ボルト又は基礎ボルトにより固定している。ディーゼル発電機排気消音器の概要図を図2-2～図2-4に示す。

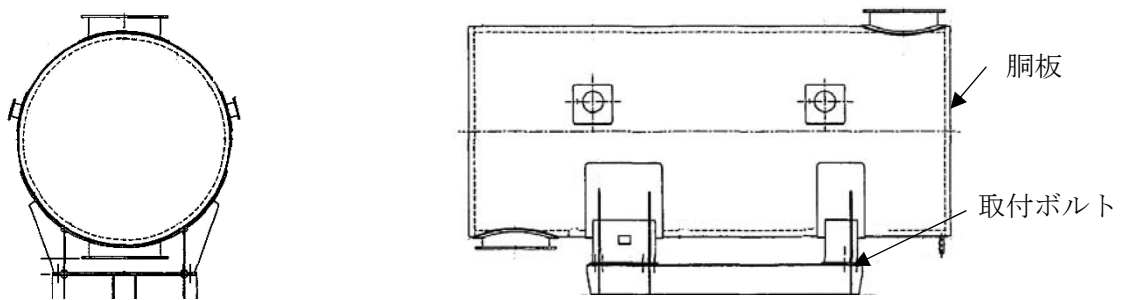


図2-2 ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機 2 C）

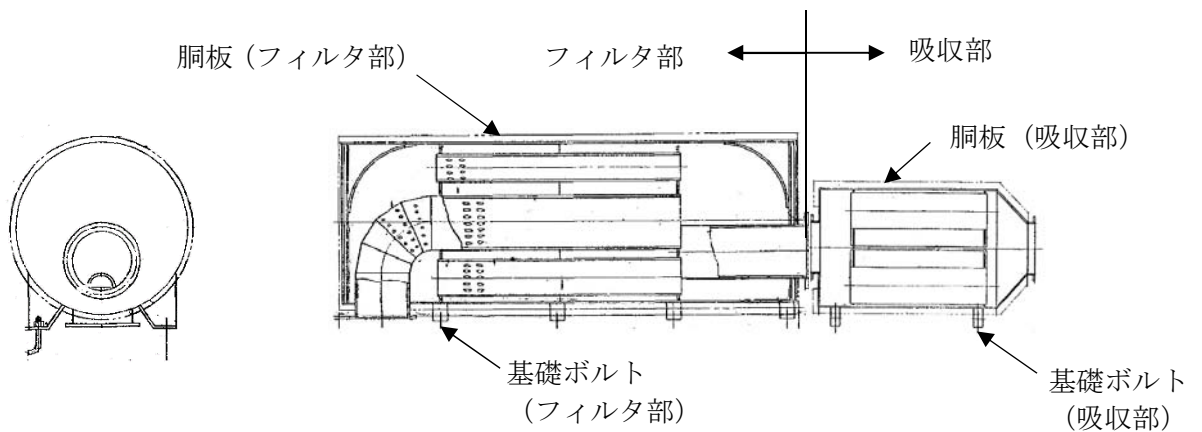


図2-3 ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機 2 D）

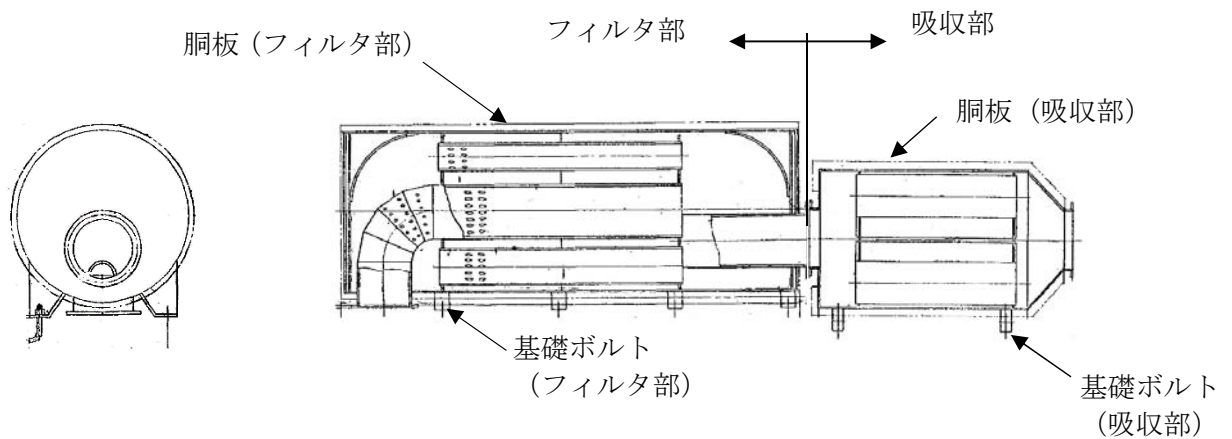


図2-4 ディーゼル発電機排気消音器概要図（高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機）

2.3 評価方針

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価フローを図2-5に示す。構造強度評価においては、ディーゼル発電機排気消音器に対して、設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「JEAG 4601」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すよこ置円筒型容器の評価式を用いる。

ディーゼル発電機排気消音器の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

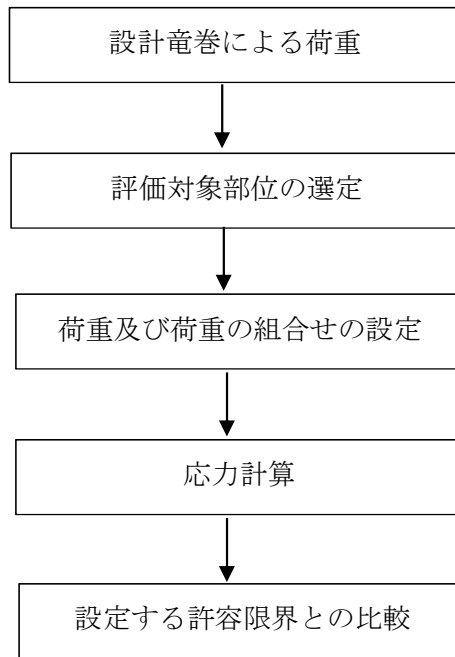


図2-5 ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991追補版」（社）日本電気協会
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「JSME」という。）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A _A	m ²	軸方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
A _H	m ²	軸直角方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C _A	—	軸方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C _H	—	軸直角方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
F	MPa	J S M E S S B-3121.1(1)により規定される値
F _{bA}	N	基礎ボルトに対する軸方向応力評価における引張力
F _{bH}	N	基礎ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
f _s	MPa	J S M E S S B-3121.1により規定される供用応力状態A及びBでの許容せん断応力
f _t	MPa	J S M E S S B-3121.1により規定される供用応力状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（g = 9.80665）
H	mm	排気消音器の高さ（全高）
h	mm	排気消音器重心高さ
L _{gH}	mm	重心から基礎ボルト間の軸直角方向水平距離
L _H	mm	支点から基礎ボルト間の軸直角方向水平距離
L _{gA}	mm	重心から基礎ボルト間の軸方向水平距離
L _A	mm	支点から基礎ボルト間の軸方向水平距離
m	kg	排気消音器の質量
N	—	基礎ボルトの本数

表3-1 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
n_{fA}	—	軸方向応力評価における引張力を受ける基礎ボルトの本数
n_{fH}	—	軸直角方向応力評価における引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q_b	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
S_u	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	J S M E 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W	mm	排気消音器の幅
W_M	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W_P	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_{T1}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1} = W_P$)
W_{T2}	N	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
W_{TA}	N	軸方向応力評価における設計竜巻による複合荷重 (W_{T2})
W_{TH}	N	軸直角方向応力評価における設計竜巻による複合荷重 (W_{T2})
W_W	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ_{bA}	MPa	軸方向応力評価における基礎ボルトに生じる引張応力
σ_{bH}	MPa	軸直角方向応力評価における基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は、ディーゼル発電機排気消音器本体に作用し、支持脚を介して取付ボルト又は基礎ボルトに作用する。

排気消音器の転倒による閉塞により、ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、本体を支持するための主要な支持部材であり、支持断面積が小さく、発生する応力箇所が厳しくなる取付ボルト、基礎ボルトを評価対象部位として設定する。

なお、ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機2D）及びディーゼル発電機排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）は、フィルタ部と吸収部がフランジで結合されているが、設計竜巻による発生荷重はおおむね弾性範囲内となるよう設計するため大きな変位は発生せず、フィルタ部又は吸収部に発生した応力が他方に伝達する影響は小さいため、軸直角方向からの風荷重による応力はフィルタ部と吸収部各々直下の取付ボルト又は基礎ボルトに発生すると考えられる。また、軸方向からの風荷重による応力はフィルタ部と吸収部各々について風が当たるものとして評価することで保守的な評価となるため、フィルタ部と吸収部に分けて評価を行う。

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価における評価対象部位を、図3-1～図3-3に示す。

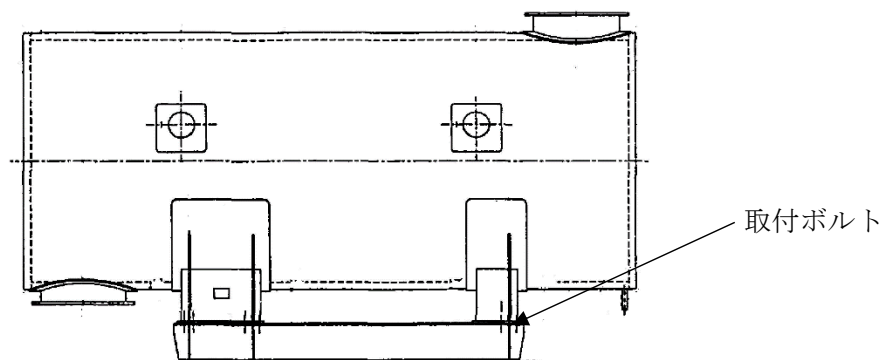


図3-1 ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機2C）の評価対象部位

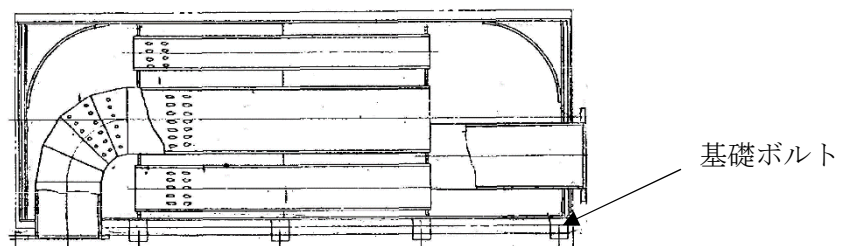


図3-2 ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機2D、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）の評価対象部位（フィルタ部）

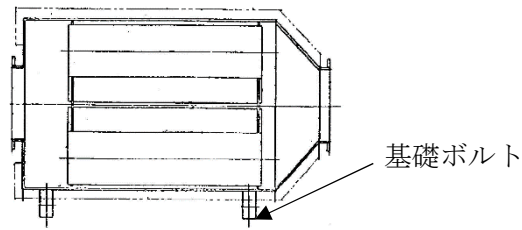


図3-3 ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機 2 D，
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）の評価対象部位（吸収部）

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重

屋外の施設であるため風圧力による荷重を考慮する。開放された施設であるため、ディーゼル発電機排気消音器に気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また、ディーゼル発電機排気消音器が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され、且つ速やかに補修する方針とするため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト及び基礎ボルトには、自重及び風圧力による荷重が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
波及的影響を及ぼす可能性がある施設	ディーゼル発電機排気消音器 (非常用ディーゼル発電機 2 C)	取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重
	ディーゼル発電機排気消音器 (非常用ディーゼル発電機 2 D)	基礎ボルト	
	ディーゼル発電機排気消音器 (高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機)		

3.4 許容限界

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトの許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力の許容荷重を用いる。

許容限界は J E A G 4 6 0 1 を準用し、その他支持構造物の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_AS から算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表Part5, 6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表Part5, 6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は基礎ボルトの許容限界について、表3-3に示す。

表3-3 許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
取付ボルト 又は 基礎ボルト	Ⅲ _A S	一次 応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$

3.5 評価方法

ディーゼル発電機排気消音器の構造強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機排気消音器の評価式を用いる。

(1) 計算モデル

受圧面の重心位置に風圧力による荷重が作用する 1 質点系モデルとして計算を行う。非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図を図 3-4、図 3-5 に、非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図を図 3-6～図 3-9 に示す。

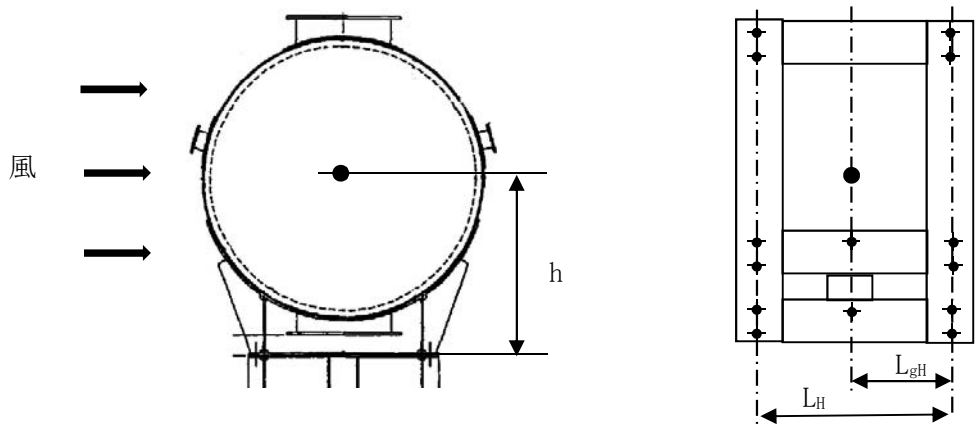


図 3-4 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図（軸直角方向）

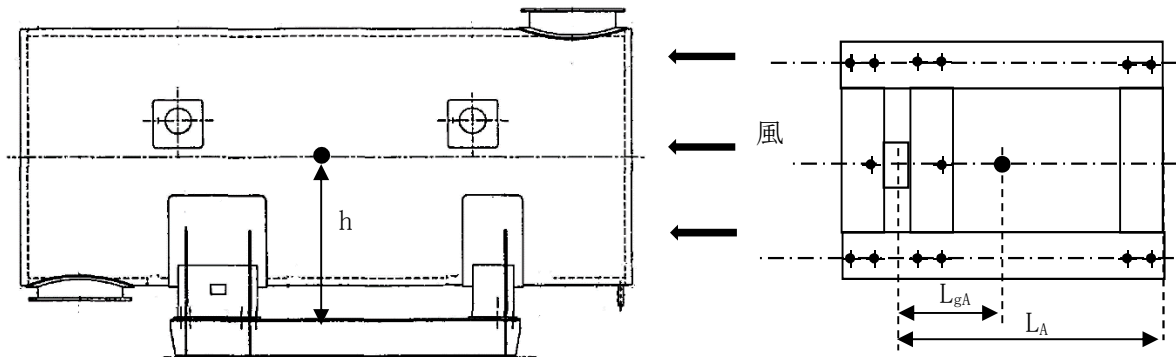


図 3-5 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図（軸方向）

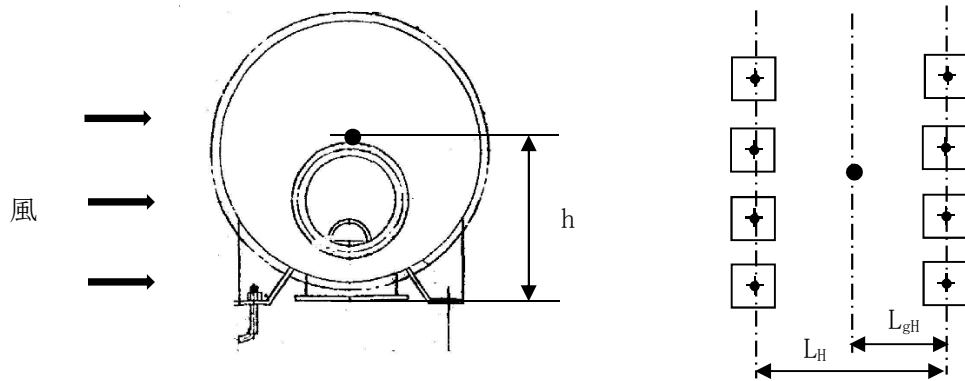


図 3-6 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸直角方向）

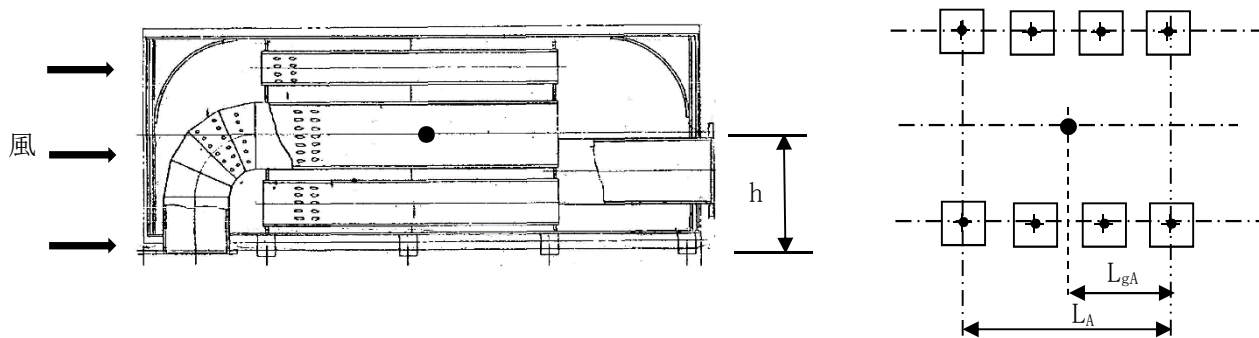


図 3-7 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸方向）

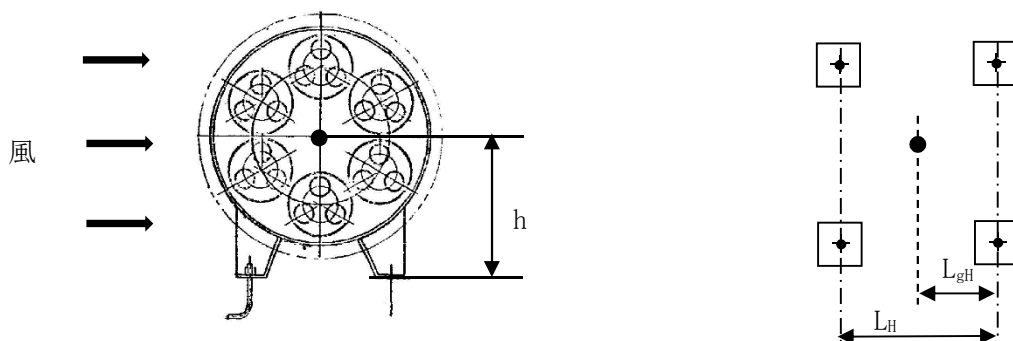


図 3-8 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器モデル図（吸収部軸直角方向）

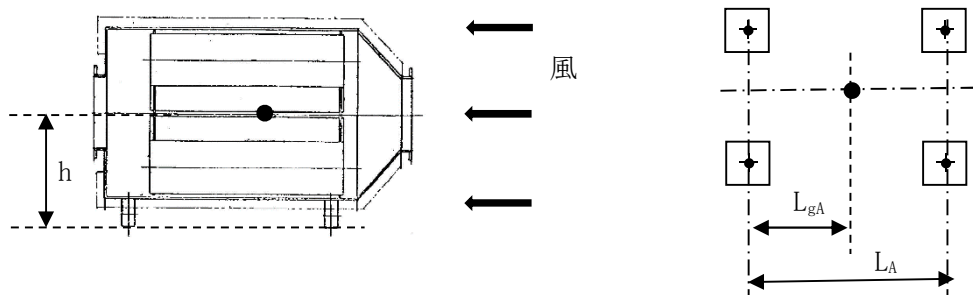


図 3-9 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（吸収部軸方向）

(2) 計算方法

a. 引張応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 3-3～図 3-9 で取付ボルト又は基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルト又は基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(a) 軸直角方向

イ. 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gh}}{n_{fH} \cdot L_H}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

(b) 軸方向

イ. 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gA}}{n_{fA} \cdot L_A}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bA} = \frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで、取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

b. せん断応力

取付ボルト又は基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

$$Q_b = W_T$$

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件（非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
取付ボルト	SNB7	50	715	838	586	439	338

表 4-2 許容応力評価に用いる条件（非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレ
イ系ディーゼル発電機排気消音器）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
基礎ボルト	SS400	50	231	394	231	173	133

表 4-3 評価条件

q (N/m ²)	G (-)
6.1×10^3	1.0

表 4-4 評価条件（非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器取付ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m ²)	A_A (m ²)
800	1600	1100	2925	20.10	8.613

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	6300	3190	1640	8248

g (m/s ²)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm ²)
9.80665	M30	14	6	2	706.9

表 4-5 評価条件 (非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器フィルタ部基礎ボルト)

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
700	1400	1800	5100	22.29	7.995

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	7250	3075	1775	9500

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	8	4	2	706.9

表 4-6 評価条件 (非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器吸収部基礎ボルト)

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
700	1400	794	2000	6.975	4.950

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	3100	2250	1150	4500

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	4	2	2	706.9

表 4-7 評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器フィルタ部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
675	1350	1550	4200	16.80	5.945

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	6075	2765	1690	9500

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	8	4	2	706.9

表 4-8 評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器吸収部基礎ボルト）

L_{gH} (mm)	L_H (mm)	L_{gA} (mm)	L_A (mm)	A_H (m^2)	A_A (m^2)
450	900	794	2000	6.681	4.202

C_H (-)	C_A (-)	W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	3100	2155	1180	4500

g (m/s^2)	ボルト サイズ	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm^2)
9.80665	M30	4	2	2	706.9

5. 強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1, 表 5-2 に示す。

非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器取付ボルト, 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器基礎ボルト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 評価結果 (軸直角方向)

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器取付ボルト	引張	27	439
	せん断	15	338
	組合せ	27	439
非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器 (フィルタ部) 基礎ボルト	引張	57	173
	せん断	29	133
	組合せ	57	173
非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器 (吸収部) 基礎ボルト	引張	15	173
	せん断	19	133
	組合せ	15	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器 (フィルタ部) 基礎ボルト	引張	38	173
	せん断	22	133
	組合せ	38	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器 (吸収部) 基礎ボルト	引張	30	173
	せん断	18	133
	組合せ	30	173

表 5-2 評価結果（軸方向）

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電機 2 C 排気 消音器取付ボルト	引張	29	439
	せん断	13	338
	組合せ	29	439
非常用ディーゼル発電機 2 D 排気 消音器フィルタ部基礎ボルト	引張	5	173
	せん断	21	133
	組合せ	5	173
非常用ディーゼル発電機 2 D 排気 消音器吸収部基礎ボルト	引張	18	173
	せん断	26	133
	組合せ	18	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発 電機排気消音器フィルタ部基礎ボ ルト	引張	1	173
	せん断	16	133
	組合せ	1	173
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発 電機排気消音器吸収部基礎ボルト	引張	14	173
	せん断	22	133
	組合せ	14	173

V-3-別添 1-1-10-3 排気管，放出管及びベント管の強度計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	4
2.4 適用規格.....	5
3. 強度評価方法.....	6
3.1 記号の定義.....	6
3.2 評価対象部位.....	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	8
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	13
5. 強度評価結果.....	15

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外に設置している非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の付属排気配管及びベント配管（以下「ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管」という。）、残留熱除去系海水配管（放出側）、非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の海水配管（放出側）（以下「ディーゼル発電機海水配管（放出側）」という。）並びにサポート部が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）について、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

屋外に設置しているディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図2-1に示す位置に設置する。

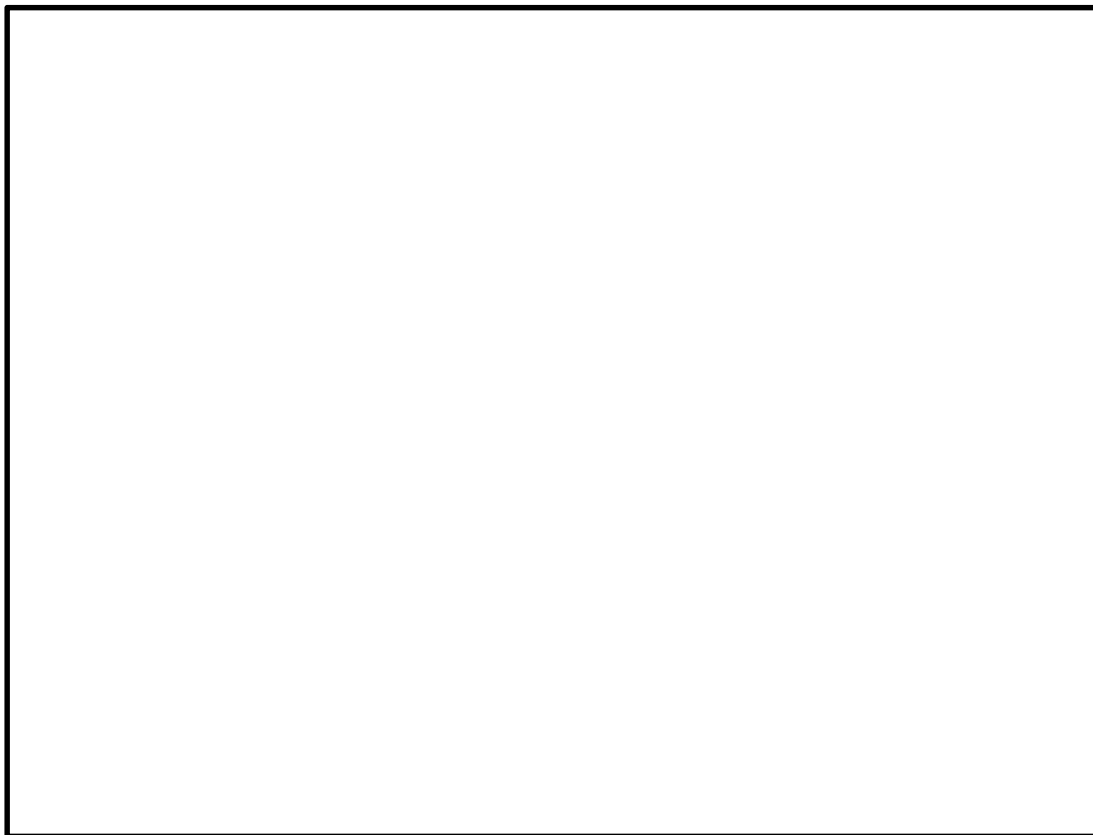


図 2-1 ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）について，V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，各配管の構造を示す。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）は鋼管で構成される。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は建屋壁，床等から支持された配管である。

残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）は，建屋壁，基礎コンクリートにサポートで固定された配管である。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の概要図を図2-2～図2-4に示す。

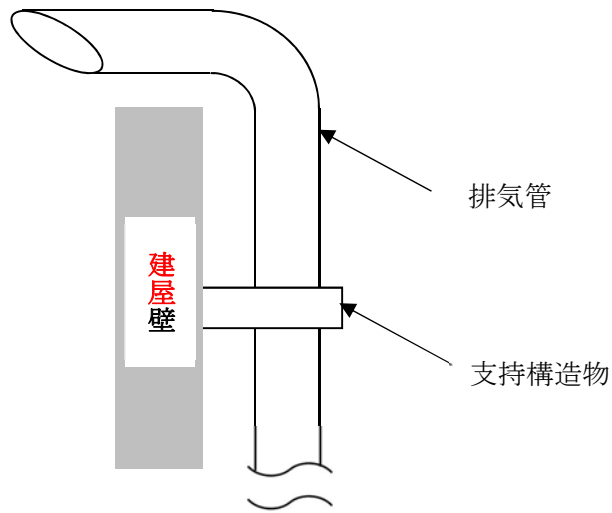


図2-2 ディーゼル発電機付属排気配管の概要図

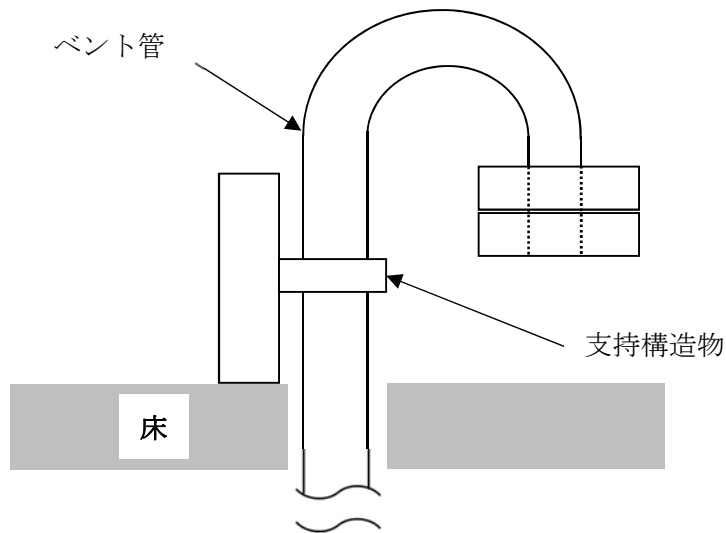


図2-3 ディーゼル発電機付属ベント配管の概要図

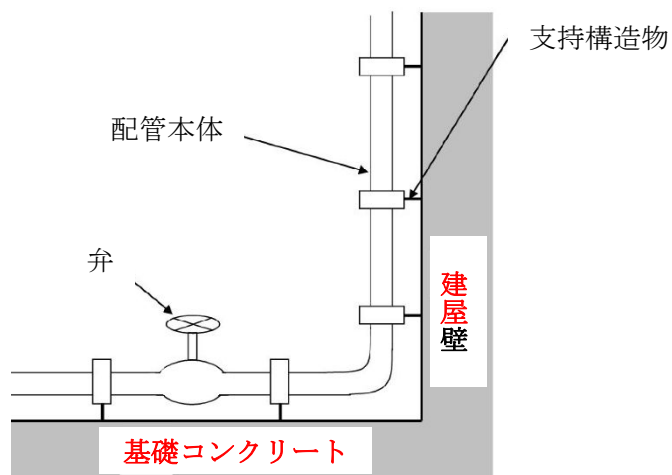


図2-4 残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）の概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の強度評価は，V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している，荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

構造強度評価において，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）に対しては，設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す配管及び弁の評価式を用いる。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の許容限界は，V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（（社）日本電気協会），「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「JEAG 4601」という。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

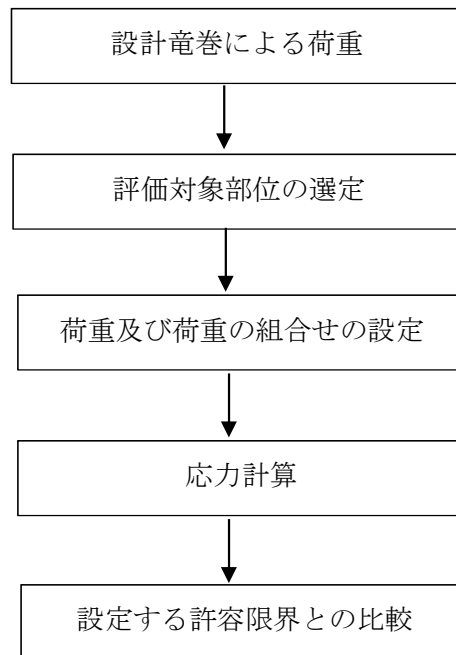


図2-5 ディーゼル発電機附属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（社）日本電気協会
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「JSME」という。）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ² /m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（g = 9. 80665）
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m ²	設計用速度圧
S _y	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
W _w	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm ³	断面係数
ΔP	N/m ²	気圧差
ρ	kg/m ³	空気密度
σ ₁ , σ ₂	MPa	配管に生じる応力
σ _{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ _{WT1} , σ _{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ _{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
σ _{自重}	MPa	自重により生じる応力
σ _{内圧}	MPa	内圧により生じる応力

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位は，V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は，配管本体及びサポート（配管支持構造物）に作用する。サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポート（配管支持構造物）の設計は耐震設計に包絡される。

このことから，配管本体を評価対象部位として選定する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価における評価対象部位を図3-1～図3-3に示す。

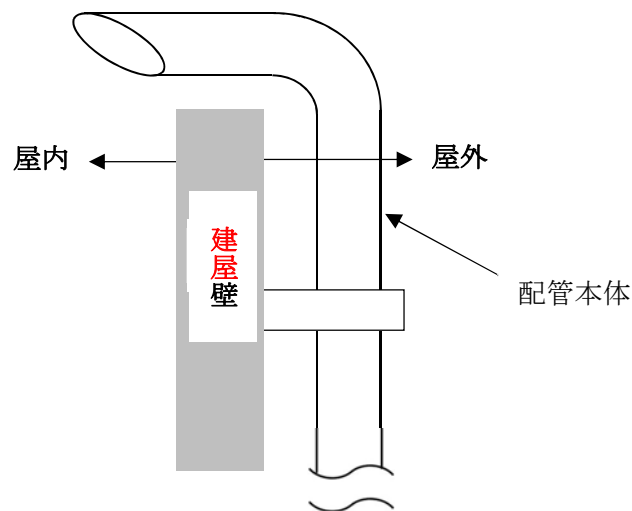


図3-1 ディーゼル発電機付属排気配管の評価対象部位

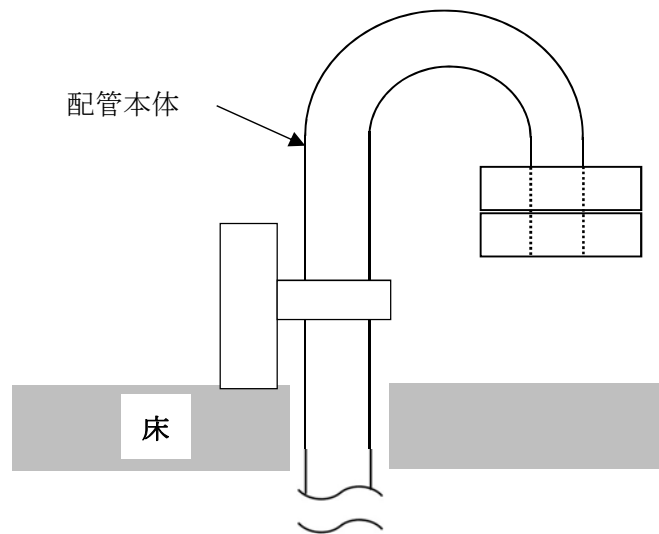


図3-2 ディーゼル発電機付属ベント管の評価対象部位

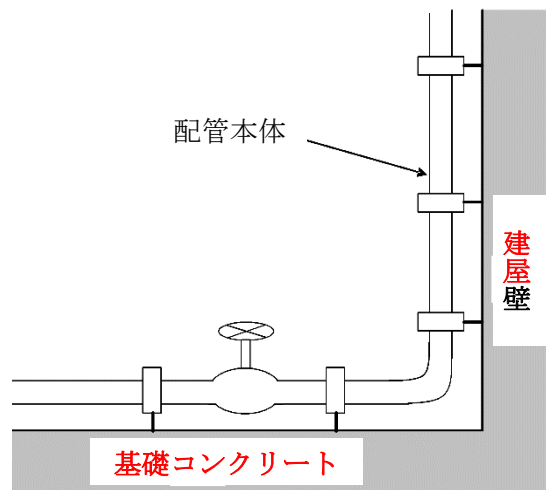


図3-3 残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 1-1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重、気圧差による荷重を考慮する。なお、ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）が仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気又は排水箇所から排気又は排水され、且つ速やかに補修する方針とするため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はV-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(b) 気圧差による荷重(W_p)

気圧差による荷重 W_p は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 計算方法」に示す。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
波及的影響を及ぼす可能性がある施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管 ・残留熱除去系海水配管（放出側） ・ディーゼル発電機海水配管（放出側） 	配管本体	<ul style="list-style-type: none"> ①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.4 許容限界

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

ディーゼル発電機付属排気ベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）及びディーゼル発

電機海水配管（放出側）の許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。また、ディーゼル発電機付属排気配管の許容限界は、J S M E 付録材料図表Part5の表記載の値以上であることから、外挿値を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界について、表3-3に示す。

表3-3 配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜+曲げ）
Ⅲ _A S	S_y

3.5 評価方法

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）並びにディーゼル発電機海水配管（放出側）の構造強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している配管及び弁の評価式を用いる。

(1) 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材料ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

なお、ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は、配管端部が片持ち形状となっていることから、配管端部についても片持ち梁として評価を行う。

両端支持形状の配管モデル図を図 3-4 に、片持ち形状の配管モデル図を図 3-5 に示す。

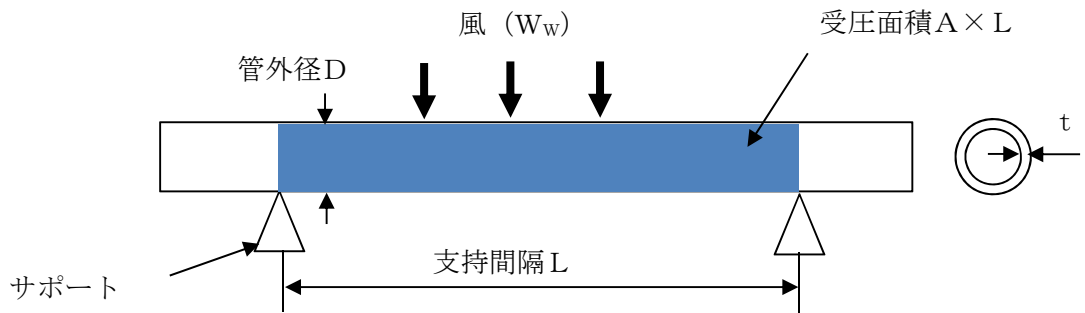


図 3-4 配管モデル図 (両端支持形状)

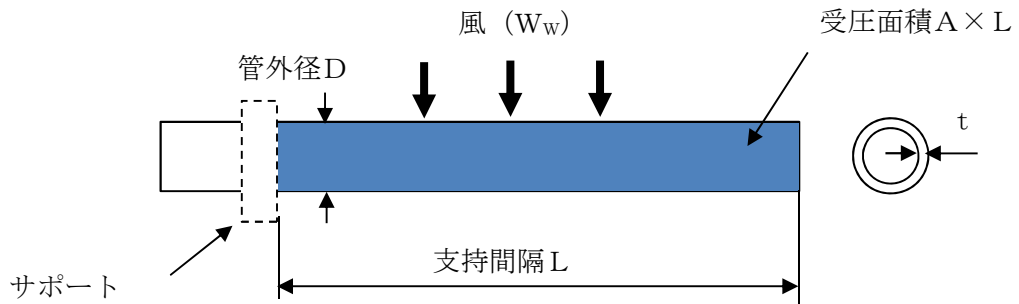


図 3-5 配管モデル図 (片持ち形状)

(2) 計算方法

a. 竜巻による応力計算

(a) 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

(両端支持形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \{D^4 - (D - 2 \cdot t)^4\}$$

(b) 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、(a), (b)項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

b. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

(両端支持形状)

$$\sigma_{自重} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち支持形状)

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$W = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により σ_1 及び σ_2 を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-5 に示す。

表 4-1 許容応力計算に用いる条件

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)
非常用ディーゼル発電機付属排気配管	660.4	SM400B	500	116
	863.6	SM400B	500	116
非常用ディーゼル発電機付属ベント配管	42.7	STPT370	55	206
	165.2	STPT370	50	209
	216.3	STPT370	50	209
残留熱除去系海水配管（放出側）	508.0	SB410	66	212
ディーゼル発電機海水配管（放出側）	267.4	STPT410	66	226

表 4-2 評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (N/m ²)	気圧低下量 ΔP (N/m ²)	重力加速度 g (m/s ²)
1	1.2	6100	8900	9.80665

表 4-3 評価条件（非常用ディーゼル発電機付属排気配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (kPa)
660.4	両端支持	SM400B	8.500	6.0	115.9	0.8604	5
	片持ち	SM400B	5.570	6.0	115.9	0.8604	5
863.6	両端支持	SM400B	9.362	6.0	151.1	1.064	5
	片持ち	SM400B	7.251	6.0	151.1	1.064	5

表 4-4 評価条件（非常用ディーゼル発電機付属ベント配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (kPa)
42.7	両端支持	STPT370	2.440	3.6	3.470	0.04270	197
	片持ち	STPT370	0.950	3.6	7.570	0.04270	197
165.2	両端支持	STPT370	2.800	7.1	27.70	0.1652	5
	片持ち	STPT370	1.378	7.1	49.30	0.1652	5
216.3	両端支持	STPT370	2.900	8.2	42.10	0.2163	5
	片持ち	STPT370	1.578	8.2	71.30	0.2163	5

表 4-5 評価条件（残留熱除去系海水配管（放出側））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (kPa)
508.0	SB410	13.35	15.1	362.8	0.5080	700

表 4-6 評価条件（ディーゼル発電機海水配管（放出側））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
267.4	STPT410	10.00	9.3	107.8	0.2674	700

5. 強度評価結果

(1) 非常用ディーゼル発電機付属排気配管

構造強度評価結果を表5-1に示す。

非常用ディーゼル発電機付属排気配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
660.4	両端支持	SM400B	6	34	116
	片持ち	SM400B	10	58	116
863.6	両端支持	SM400B	6	30	116
	片持ち	SM400B	12	72	116

(2) 非常用ディーゼル発電機付属ベント配管

構造強度評価結果を表5-2に示す。

非常用ディーゼル発電機付属ベント配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
42.7	両端支持	STPT370	7	66	206
	片持ち	STPT370	10	45	206
165.2	両端支持	STPT370	3	11	209
	片持ち	STPT370	4	13	209
216.3	両端支持	STPT370	2	8	209
	片持ち	STPT370	4	11	209

(3) 残留熱除去系海水配管（放出側）

構造強度評価結果を表5-3に示す。

残留熱除去系海水配管（放出側）に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
508.0	SB410	35	64	212

(4) ディーゼル発電機海水配管（放出側）

構造強度評価結果を表5-4に示す。

ディーゼル発電機海水配管（放出側）に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果

管外径 D (mm)	材料	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT410	34	86	226